

1.3414 μm TEM₀₀ Nd:YAP连续激光器的稳定性

周五平 沈鸿元 曾瑞荣 于桂芳

黄呈辉 廖宏 曾政东 连天泉

(中科院福建物质结构所)

摘要: 本文分析研究了1.3414 μm Nd:YAP激光器的输出波动,认为谐振腔的增益、损耗和振荡条件的变化是激光输出波动的原因。基于此,本文探索出抑制不同频率的输出波动的技术,获得了宽频带内无尖峰、稳定度高于0.875%的单横模激光输出。

Stability of 1.3414 μm TEM₀₀ Nd:YAP CW laser

Zhou Yuping, Shen Hongyuan, Zeng Ruihong, Yu Guifang,
Huang Chenghui, Liao Hong, Zeng Zhengdong, Lian Tianquan

(Fujian Institute of Research on the Structure
of Matter, Academia Sinica)

Abstract: The causes of fluctuation of 1.3414 μm Nd:YAP CW laser are analyzed and investigated in this paper. It has been shown that the fluctuations of laser output are caused by the variations of gain, loss and oscillation condition of resonator. Based on these investigations, the technique of suppressing fluctuations at different frequencies is explored and the stable spikefree TEM₀₀ mode laser output with better than 0.875% has been successfully obtained in wide band.

为分析研究1.3414 μm Nd:YAP连续激光器输出的波动原因及其成因,我们采用了图1所示的测试系统。其中探测元件为响应频率高于PbS且零点温漂也较小的锗光敏二极管,低频波动由X-Y记录仪记录;0~0.25kHz波动用美国制造的195型数字繁用表显示;高于25kHz的波动用美国制造的7844型示波器监测;单横模用光束扫描法鉴别。

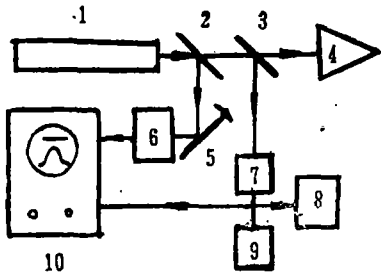


图1 Nd:YAP激光输出稳定性
测试装置

1—激光器 2、3—分束镜 4—功率计
5—转镜 6、7—锗探测器 8—X-Y函数记
录仪 9—195型数字表 10—7844型示波器

35%。实验结束时，我们发现有很多小的斑痕出现在介质镜面和棒的端面上，同时棒的侧面、氦灯表面及氦灯水冷滤紫外玻璃管的管壁上，沉积了一层水垢，上述现象连同氦灯等元件的性能老化，都造成泵浦效率下降，腔内损耗增加，使激光输出下降，且随着工作时间的延长而不断加强。

这类慢衰变通过密封腔空间、净化冷却水以及适当降低泵浦功率和更换损坏了的元件，就可以得到明显改善。

二、频率由几赫到几千赫的波动

图2和图3分别为X-Y记录仪和7844型示波器对一般Nd:YAP连续激光器监测得到的输出波动。频率范围相当宽，波动幅度也很大，低频大于6%，高频则一倍以上。

除少数由激光电源中纹波引起的周期波动外（见图4），大部分是无规则的随机波动。



图2 X-Y记录仪记录的1.3414 μm
Nd:YAP激光输出的低频波动
输入2.6kW；输出7W；灵敏
度为1mV/cm；纸速为1mm/s

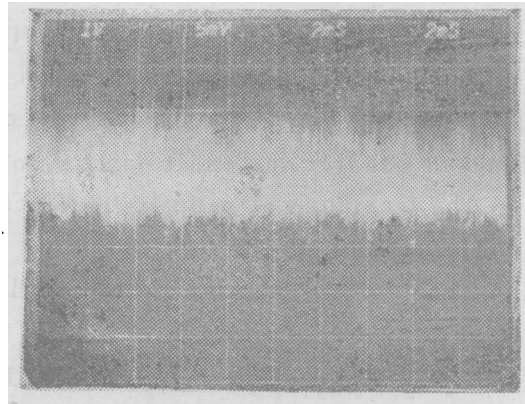


图3 7844型示波器显示的Nd:YAP
激光输出的高频波动

其中，频率为几赫到几千赫的波动，是由于电源不稳定；冷却水流的冲击及其他原因引起光学元件的振动；冷却水流量变化造成激光介质内温度的升降，腔内粉尘及空气无规则流

测试结果表明，1.3414 μm Nd:YAP连续激光器输出的波动，从频率极低的慢衰变到几百千赫的尖峰振荡都有，范围相当宽。当然，其中还有相应于纵模竞争的、频率为几百兆赫的波动，不过它已超出了我们所用探测器的响应频率，故在此暂不讨论。

对应于所用测试仪器的不同频率响应范围，我们将激光输出波动划分成三类。

一、激光输出波动中的慢衰变

慢衰变是指激光输出缓慢下降的变化，它往往出现在激光长期运转后。在一个激光连续运转50h的实验中，输出缓慢地下降了

动等原因，致使谐振腔的增益、损耗和振荡条件改变，从而使激光输出强度发生波动。

为了有效地降低这部分波动，我们采取了如下几条措施：

1. 电源不稳定性及波纹系数小于1%；
2. 为减少激光增益的波动，避免使用灯弧在玻璃管蠕动的氩灯；
3. 使用缓冲器并适当降低冷却水的流速，以缓和冷却水的冲击；
4. 降低机械振动，增加器件抗振动的能力；
5. 密封谐振腔空间，阻止尘埃落入及空气流动；

6. 让器件运转于单横模，使激光棒基模振荡区域外的晶体如国外在棒外加蓝宝石或石英套一样，起到热稳定筒的作用，以降低基模振荡区域内由于冷却水流量变化而引起的温度变化。

除此以外，我们设计了“失调不灵敏腔”，对实现激光输出的高稳定，也是极为重要的。

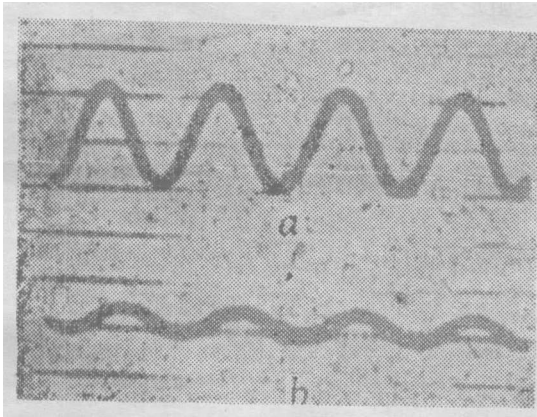


图4

- (a) 激光电源纹波
(b) 激光输出中的周期波动

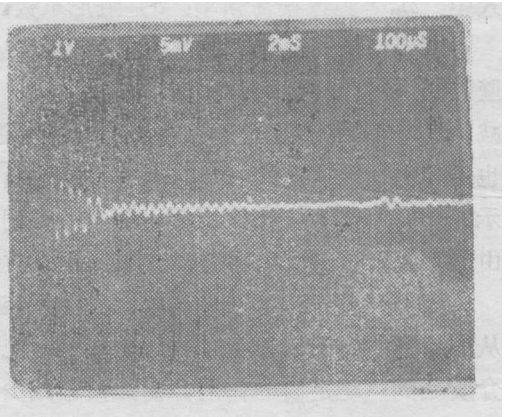


图5 阻尼振荡波形

振荡频率47.13kHz；阻尼系数 $6.0 \times 10^3/s$

三、频率由几千赫到几百千赫范围内的波动

图3中存在许多无序的尖峰，其频率从几十千赫到几百千赫。这些尖峰是由固态激光里的弛豫振荡引起的，其幅度往往比直流幅度大一倍甚至更多。当我们增加示波器的扫描频率将尖峰扩展开后，可以进一步看到，振荡的振幅在逐渐衰变。

通过改变谐振腔参数和示波器扫描频率，能清楚地观察到，这些尖峰是如图5所示的阻尼振荡。

弛豫振荡起源于腔内光子数和激光介质内反转粒子数之间的相互作用。对于均匀加宽的四能级激光晶体，腔内光子数所满足的方程也遵从描述腔内光子数和反转粒子数之间相互作用的速率方程。

$$\begin{cases} \frac{dn}{dt} = R - \frac{n}{T} - \frac{n}{T_r} \\ \frac{dq}{dt} = \frac{n}{T_r} - \frac{q}{T_q} \end{cases}$$

式中, T 是激光上能级寿命; T_1 是平均受激寿命; T_0 是腔内光子的平均寿命; q 是腔内光子密度; n 是反转粒子密度。

令,

$$\begin{cases} n = n_0 + m & (m \ll n_0) \\ q = q_0 + r & (r \ll q_0) \end{cases}$$

式中, n_0 和 q_0 分别为稳态反转粒子密度和腔内光子密度; m 和 r 分别为稳定平衡点附近反转粒子和光子密度的扰动。

解方程, 我们得到,

$$r = r_0 \cdot \exp[-at] \cdot \exp[if(\omega_m^2 - a^2)^{1/2}t]$$

式中, ω_m 是弛豫振荡频率; a 是阻尼系数; r_0 为上述阻尼振荡幅值。

因为在泵浦过程中和腔参数的变化中, 存在频率接近于 ω_m 的瞬态扰动, 如氩灯电极对管壁放电, 使激光的输出振幅因谐振而急剧增长, 其后因腔内存在损耗而以阻尼振荡的方式被衰减。同时, 固态激光器里腔镜和激光棒端面间存在着次腔效应, 使得腔外即便很微弱的扰动, 也能经由次腔效应的作用, 很容易地被激励起弛豫振荡。因此, 固态激光输出中, 如图 3 所示, 存在着许多尖峰。图 3 和图 5 还表明, 在一般的 Nd:YAP 激光中阻尼系数是很小的。由图 5 我们可以测出振荡频率和阻尼系数分别为 $\omega_m = 47.13 \text{ kHz}$ 和 $a = 6.0 \times 10^3 / \text{s}$ 。

为保证激光运转于单横模, 我们在腔内放入一个适当的针孔, 它不仅抑制了高斯横模, 从而抑制了由于横模竞争引起的频率为几百千赫的波动, 而且也使基模振荡区域周围的激光介质起到热稳定筒的作用, 因此, 也减少了因为激光介质内温度变化引起的激光输出波动。同时, 因为腔内不再插入其他光学元件, 所以能够取得较高的激光功率。

因此, 只要消除次腔效应及频率趋近于 ω_m 的扰动源, 增加激光系统的阻尼系数和抗扰动的能力, 让器件运转于单横模, 我们就能得到无尖峰的激光输出。

基于上述分析研究, 我们获得了在宽频带内无尖峰、高稳定且功率大于 5 W 的单横模激光输出。

图 6 示出光束扫描法鉴别的单横模波形。

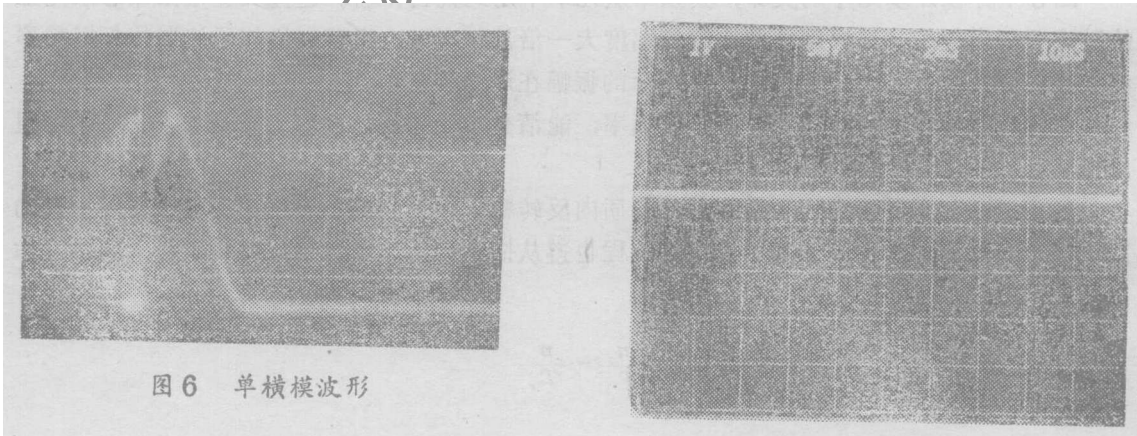


图 6 单横模波形

图 8 示波器显示的高稳定输出

图 7 (略) 示出 X-Y 函数记录仪记录的高稳定 $1.3414 \mu\text{m}$ Nd:YAP 激光器的低频输

出,测得的波动小于0.25%。

用195型数字多用表进行了1h激光输出的记录,测试结果表明,在0~25kHz频率范围内波动小于0.875%。

图8示出用7844型示波器观察到的高稳定激光输出,即便是最灵敏的5mV/格档,也未看到尖峰,与图3形成了鲜明对照。

高稳定1.3414 μm Nd:YAP单横模连续激光器已用于单模光纤性能研究以及晶体折射率的精确测量,并且都取得了良好的结果。

最后,作者向提供Nd:YAP激光棒的李敢生同志及其小组,向光学加工车间和镀膜的叶启金同志等表示感谢。

参 考 文 献

(1) J. A. P., 1970, Vol.41, P. 4014.

作者简介:沈鸿元,男,1937年8月出生。研究员,副主任。从事晶体物理及激光技术研究。

曾瑞荣,男,1938年9月出生。高级工程师。从事激光技术研究。

周五平,男,1942年10月出生。助研。从事激光技术研究。

于桂芳,女,1940年出生。工程师。从事激光技术研究。

收稿日期:1988年11月29日。

· 简 讯 ·

磁光盘技术超越普通小型磁盘

据过去几月在加州旧金山对NeXT计算机所作的介绍,激光磁光盘(MOD)技术显示出超越了计算机数据贮存用的小型磁盘(CD)激光系统。价值6500美元的计算机是加州Palo Alto公司创办人Steve Jobs宣布的,该计算机包含了由日本佳能公司制造的MOD驱动器。

与CD不同,MOD可抹掉贮存信号。MOD能存贮256MByte的数据——这几乎是普通筒易磁盘的1000倍。

与计算机配套的是专用的小型高分辨激光打印机,售价约2000美元。

摘自L.F./E.-O., 1988, Nov., P.14.

于祖兰 译 封鸿渊 校

射频波导CO₂激光器取得重大进展

——三列阵CO₂激光器研制成功

西南技术物理所射频激励列阵波导CO₂激光器研究取得重大进展,最近研制出三列阵射频波导CO₂激光器。国内目前尚无此种三列阵器件,器件输出功率已达8.0W,效率8%。该器件是最近几年发展起来的一种可获得高功率、高效率、体积小、结构新颖的一种新型气体激光器。它越来越受到国内外的高度重视。这种新型器件将广泛用于国防、科研及工业加工领域。

(三室三〇五组 供稿)